

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2004-500546

(P2004-500546A)

(43) 公表日 平成16年1月8日(2004.1.8)

(51) Int.Cl.⁷

G01N 21/17

G01N 21/35

F I

G01N 21/17

G01N 21/35

620

Z

テーマコード (参考)

2G059

審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 79 頁)

(21) 出願番号 特願2001-501867 (P2001-501867)
(86) (22) 出願日 平成12年6月5日 (2000.6.5)
(85) 翻訳文提出日 平成13年12月3日 (2001.12.3)
(86) 国際出願番号 PCT/GB2000/002168
(87) 国際公開番号 W02000/075641
(87) 国際公開日 平成12年12月14日 (2000.12.14)
(31) 優先権主張番号 9913089.0
(32) 優先日 平成11年6月4日 (1999.6.4)
(33) 優先権主張国 イギリス (GB)
(31) 優先権主張番号 9913429.8
(32) 優先日 平成11年6月9日 (1999.6.9)
(33) 優先権主張国 イギリス (GB)

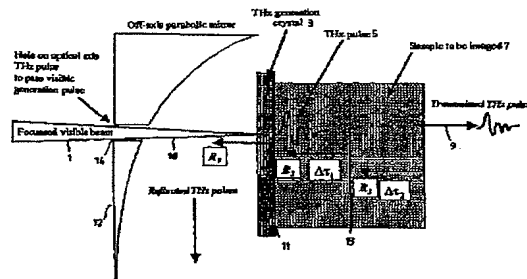
(71) 出願人 502024823
テラビュー リミテッド
イギリス国, ケンブリッジ シービー4
オダブリュジー, ミルトン・ロード, ケン
ブリッジ・サイエンス・パーク 302/
304
(74) 代理人 100070150
弁理士 伊東 忠彦
(72) 発明者 アーノン, ドナルド ドミニク
イギリス国, ケンブリッジシャー シービー
4 オダブリュジー, ケンブリッジ, ミ
ルトン・ロード, ケンブリッジ・サイエン
ス・パーク 260, テラビュー・リミテ
ッド内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 3次元画像形成

(57) 【要約】

サンプルを画像形成する方法及び装置である。本方法は、(a) 25GHzから100THzの範囲における複数の周波数を有するパルス電磁放射線の照射ビームにより、画像形成されるサンプルを照射するステップ、(b) 前記サンプルを通して透過された放射線及び前記サンプルにより反射された放射線の両者を検出するステップ、及び(c) 前記ステップ(b)において検出された前記放射線から前記サンプルの画像を生成するステップとを備えている。



【特許請求の範囲】**【請求項1】**

(a) 25GHzから100THzの範囲における複数の周波数を有するパルス電磁放射線の照射ビームにより、画像形成されるサンプルを照射するステップと、

(b) 前記サンプルを通して透過された放射線及び前記サンプルにより反射された放射線の両者を検出するステップと、

(c) 前記ステップ(b)において検出された前記放射線から前記サンプルの画像を生成するステップと、を備えるサンプルを画像形成する方法。

【請求項2】

前記ステップ(c)は、前記サンプルを通して透過されたパルスの飛行時間を計算するステップと、前記サンプルのインタフェース又は表面から反射されたパルスの飛行時間を計算するステップと、前記反射パルスの前記飛行時間と相対的な前記透過パルス及び前記反射パルスの飛行時間の差、又は差の関数をプロットするステップと、を備えることを特徴とする請求項1記載の方法。

【請求項3】

前記ステップ(c)は、前記サンプル内での偶数回の反射による前記透過パルスの一部を抽出するステップと、前記偶数回の反射により生じた信号を使用して、インタフェースの位置を決定するステップと、をさらに備える請求項1又は2記載の方法。

【請求項4】

照射ビームの放出体又は画像形成される前記サンプルのいずれかからの既知の分離を有する物体から取得される基準信号を検出するステップをさらに備える、請求項1乃至3のいずれか記載の方法。

【請求項5】

前記基準信号は、前記放出体の構成要素から離れた反射から取得される、請求項4記載の方法。

【請求項6】

前記照射ビームは、前記放射線のビームのうちで最も短い波長のビームの直径よ

りも短いビーム直径を有する、請求項1乃至5のいずれか記載の方法。

【請求項7】

前記照射ビームは放出体により放出され、前記放出体は、可視又は近赤外周波数の範囲における周波数を有する放射線のうちの少なくとも1つの入力ビームで照射され、前記放出体は、非線形光学特性を有する物質である、請求項1乃至6のいずれか記載の方法。

【請求項8】

前記入力ビームは、前記ステップ(a)のパルス放射線のビームうちで最も短い波長よりも短いビーム直径を有する、請求項4記載の方法。

【請求項9】

前記放出体は半導体である、請求項7又は8記載の方法。

【請求項10】

前記非線形光学特性を有する前記物質は、 LiIO_3 、 $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 、ADP、 KH_2PO_4 、 KH_2AsO_4 、水晶、 AlPO_4 、 ZnO 、 CdS 、 GaP 、 GaAs 、 BaTiO_3 、 LiTaO_3 、 LiNbO_3 、 Te 、 Se 、 ZnTe 、 ZnSe 、 $\text{Ba}_2\text{NaNb}_5\text{O}_{15}$ 、 AgAsS_3 、淡紅銀鉱、 CdSe 、 CdGeAs_2 、 AgGaSe_2 、 AgSbS_3 、 ZnS 、DAST(4-N-メチルスチルバゾリウム)又はSiのグループから選択される、請求項1乃至8のいずれか記載の方法。

【請求項11】

前記サンプルは、前記サンプルと前記放出体の間に光学活性成分が存在しないように取り付けられる、請求項7乃至10のいずれか記載の方法。

【請求項12】

前記放出体は、前記サンプルを保持するために配置される、請求項7乃至11のいずれか記載の方法。

【請求項13】

前記サンプルは、前記放出体から $10\mu\text{m}$ から $500\mu\text{m}$ に分離されて配置される、請求項7乃至12のいずれか記載の方法。

【請求項14】

前記放出体は、前記サンプルから反射される放射線が前記放出体を通して通過して戻ることができるようなサイズで構成される、請求項7乃至13のいずれか記載の方法。

【請求項15】

前記放出体は、前記照射ビームに対して実質的に透過性がある、請求項7乃至14のいずれか記載の方法。

【請求項16】

前記放出体は、前記照射ビームに対して透過性がある物質に取り付けられる、請求項7乃至15のいずれか記載の方法。

【請求項17】

前記サンプルは、前記照射ビームに対して透過性のある物質に取り付けられる、請求項1乃至16のいずれか記載の方法。

【請求項18】

前記ステップ(b)において、画像形成される前記サンプルの領域は2次元の画素アレイに小区分され、放射線はそれぞれの画素から検出される、請求項1乃至17のいずれか記載の方法。

【請求項19】

前記サンプルは、透過された放射線及び反射された放射線を画素毎に検出することができるように移動される、請求項18記載の方法。

【請求項20】

前記サンプルと前記放出体の両者は、前記反射された放射線及び前記透過された放射線を画素毎に検出することができるように移動される、請求項19記載の方法。

【請求項21】

前記サンプルから反射された放射線を検出するために、CCDカメラが使用される、請求項1乃至20のいずれか記載の方法。

【請求項22】

前記サンプルを通して透過された放射線を検出するために、CCDカメラが使用される、請求項1乃至21のいずれか記載の方法。

【請求項23】

前記ステップ(c)において3次元画像が生成される、請求項1乃至22のいずれか記載の方法。

【請求項24】

ステップ(c)において組成画像が生成される、請求項1乃至23のいずれか記載の方法。

【請求項25】

(a) 25GHzから100THzまでの範囲における複数の周波数を有するパルス電磁放射線の照射ビームにより、画像形成されるサンプルを照射するための手段と、

(b) 前記サンプルを通して透過された放射線及び前記サンプルから反射された放射線の両者を検出するための手段と、

前記(b)手段により検出された放射線から前記サンプルの画像を生成するための手段と、を備えるサンプルを画像形成するための装置。

【請求項26】

画像を生成するための前記手段は、前記サンプルを通して透過された放射線のパルスの飛行時間を計算するための手段と、前記サンプルのインタフェース又は表面から反射された放射線のパルスの飛行時間を計算するための手段と、前記反射されたパルスの飛行時間と相対的に、前記透過パルス及び前記反射パルスの飛行時間の差又は差の関数をプロットするための手段と、を備える請求項25記載の装置。

【請求項27】

前記サンプルの画像を生成するための手段は、前記サンプル内での偶数回の反射による透過パルスの一部を抽出し、前記偶数回の反射により生じた信号を使用して、インタフェースの位置を決定するための手段を備える、請求項25又は26記載の装置。

【請求項28】

基準信号を生成するための手段をさらに備える、請求項25乃至27のいずれか記載の装置。

【請求項29】

基準信号を生成するための前記手段は、前記サンプルを照射するための前記手段の構成要素から反射された信号を測定するための手段を備える、請求項28のいずれか記載の装置。

【請求項30】

前記サンプルを照射するための手段は、前記照射ビームを放出するための放出体を備え、前記放出体は、前記放出体が可視又は近赤外周波数範囲における周波数を有する入力ビームで照射された時に、25GHzから100THzの範囲における周波数を有するビームが放出されるような非線形光学特性を有する、請求項25乃至29のいずれか記載の装置。

【請求項31】

前記パルス放射線の前記入力ビームは、前記照射ビームのうちで最も短い波長の直径よりも短い直径を有する、請求項30記載の装置。

【請求項32】

2つの直交する方向において画素毎にステップすることができるよう配置されるモータ付きステージをさらに備える、請求項25乃至31のいずれか記載の装置。

【請求項33】

前記サンプルは前記モータ付きステージ上に取り付けられる、請求項32記載の装置。

【請求項34】

請求項30に従属する時、前記サンプルと前記放出体の両者は、前記モータ付きステージに取り付けられる、請求項33記載の装置。

【請求項35】

請求項30に従属する時、前記放出体は、前記照射ビームに対して透過性を有する物質に取り付けられる、請求項33記載の装置。

【請求項36】

前記サンプルに面する前記放出体の領域は、25mm×25mm又はそれよりも小さい、請求項35記載の装置。

【請求項37】

請求項25に従属である時、前記サンプルは、前記放出体に対して相対的に移動可能である、請求項35又は36記載の装置。

【請求項38】

前記放射線を検出するための前記手段は、前記反射された放射線を検出するためのCCDカメラを備える、請求項25乃至37のいずれか記載の装置。

【請求項39】

前記放射線を検出するための前記手段は、前記透過された放射線を検出するためのCCDカメラを備える、請求項25乃至38のいずれか記載の装置。

【請求項40】

前記サンプルの画像を生成するための前記手段は、前記サンプルの3次元画像を生成するための手段を備える、請求項25乃至39のいずれか記載の装置。

【請求項41】

前記サンプルの画像を生成するための前記手段は、前記サンプルの組成画像を生成するための手段を備える、請求項25乃至40のいずれか記載の装置。

【請求項42】

添付図面を参照して、実質的に以上に記載されたような方法。

【請求項43】

添付図面を参照して、実質的に以上に記載されたような装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

[発明の背景]

本発明は、近赤外線（IR）及びテラヘルツ周波数レンジにおける放射線により、サンプルを画像形成する分野に関する。より詳細には、本発明は、より高いギガヘルツ（GHz）及びテラヘルツ（THz）周波数レンジにおける電磁放射線を使用して、3次元においてサンプルを画像形成するための装置及び方法に関する。

【0002】

しかし、このタイプの画像形成技術において、全てのかかる放射線は、特に25GHzから100THzまでの範囲において、より特に50GHzから84GHzまでの範囲において、更に特に100GHzから50THzまでの範囲において、THz放射線として口語体で言及される。

【0003】

近年、THz放射線を使用して、方法の範囲を使用した広く様々なサンプルを見ることに益々多くの興味を持たれている。THz放射線は、サンプルの画像形成及びスペクトルの取得の両者のために使用されている。Mittleman等による研究IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, Vol. 2, No3, 1996年9月679-692頁では、THz放射線を使用して、フレーム、葉、モジュール化プラスチック及び半導体のような様々な物体を画像形成する方法が例示されている。

【0004】

THz放射線は、プラスチック、紙、厚紙、及び無極性有機物質のような殆どドライ、非金属及び無極性物体に浸透する。したがって、THz放射線は、箱、ケース等を見るためにX線に代わって使用することができる。THzは、低いエネルギー、X線よりも多くの非イオン化光子を有し、したがって、THz放射線を使用した健康への危険は、従来のX線を使用した場合と比較して、大幅に低減されることが期待される。

【0005】

3次元画像の生成において、医療及び非医療分野の両者において非常に多くの関心を持たれている。たとえば、歯科分野では、歯の3次元画像を生成する能力により、歯科医は、虫歯（歯の侵食）又は他の異常が発生している場所に正確に配置することができる。従来の画像形成様式—X線、MRI等—の殆どは、2次元画像のみを本来生成するという事実により障害があった。3次元画像は、X線ビームを通して、又はMRIの場合における磁界を通して患者又は身体部分を変換することによりのみ可能であった。

【0006】

平坦な物体（フロッピーディスク）の内部構造を画像形成するためのTHzの使用は、EP0864857において記載されている。ここでは、発明者はTHz放射線のビームの反射を測定し、サンプルの内部構造の画像を生成している。

【0007】

しかし、この方法は、前面及び背面が湾曲している物体の3次元画像を取得するために適切ではない。殆どの物体は、インタフェース及び／又は外部表面を有している。外部表面は無極性であり、すなわち、実質的な曲率半径を有している。ビームが湾曲している表面から反射される場合、照射ビームに対してある角度で反射される。EP0864857の方法は、放射線が湾曲している表面から反射される時にどのように画像を取得するかを示していない。

【0008】

また、部分的に吸収する物体は、埋め込まれたレイヤからの弱い反射を生じ、ある反射パルスについて長い吸収長となる。このことは、THz反射データのみを使用して3次元において正確に画像形成することができる物体の厚さを制限することになる。

【0009】

[発明の概要]

本発明は、上記問題に対処するものである。第1の観点では、サンプルを画像形成する方法を提供する。本方法は、以下のステップを備えている。

(a) 25GHzから100THzの範囲における複数の周波数を有するパルス

電磁放射線の照射パルスにより、画像形成されるサンプルを照射するステップ。

(b) サンプルを通して透過された放射線及びサンプルにより反射された放射線の両者を検出するステップ。

(c) ステップ(b)において検出された放射線からサンプルの画像を生成するステップ。

【0010】

反射された放射線及び透過された放射線の両者を収集することにより、非常に広い範囲の湾曲している表面を測定することができる。したがって、本発明の方法は、現実的にいずれの形状のサンプルをも画像形成することができる。透過された放射線及び反射された放射線の両者を収集することにより、サンプルの組成画像を取得することができる。

【0011】

サンプルを透過された放射線は、サンプルの形状及び成分を決定するために使用される。サンプルから反射された放射線は、形状の情報を与えることに加えて、サンプル内の絶縁表面の位置を測定するために使用される。この技術により、内部及び外部表面の両者の曲率を測定することができる。したがって、反射された放射線及び透過された放射線の両者を使用することは、物体の3次元組成構造を決定するための非常に強力な武器である。

【0012】

簡単な例として均質な球面を考える。かかる例では、内部にインタフェースがない。したがって、パルスは球面を通して透過され、入口及び出口の球面に関して反射される。サンプルを2次元の画素アレイに小区分し、サンプルを通して透過されるパルスの飛行時間を測定することにより、それぞれの画素にいついてサンプルの厚さを測定することができる。しかし、サンプルの形状を位置として決定することができず、インタフェースの前面の形状がわからない。前面のインタフェースの形状は、入口の球面に関して反射されたパルスの飛行時間から決定することができる。したがって、反射パルスの飛行時間と相対的な透過パルス及び反射パルスの飛行時間の差をプロットすることにより、サンプルの形状に関する情報を取得することができる。

【0013】

したがって、画像を生成するステップは、サンプルを通して透過されたパルスの飛行時間を計算するステップ、サンプルのインタフェース又は表面から反射されたパルスの飛行時間を計算するステップ、及び反射パルスの飛行時間と相対的に透過パルス及び反射パルスの飛行時間の差又は差の関数をプロットするステップ、を備えていることが好ましい。

この差の関数は、サンプルの屈折率における変動を補正するためにプロットすることができる。

【0014】

球面の場合において、理論的には、出口の球面に関して反射されるパルスを使用して、球面の入口に関して反射されるパルスと共に、サンプルの形状を決定することができる。しかし、該反射パルスはかなり大きな角度を通して散乱され、検出器の範囲外となる可能性があるために、サンプルの出口に関して反射パルスを使用することは望ましくない。さらに、該反射パルスは、サンプルを通して2回通過するために非常に弱い。

【0015】

本発明は、上記の均等な球面よりもより複雑な物体を画像形成するために使用することができる。上述したように、サンプル内で最も深い位置にあるインタフェースから反射パルスを検出することは難しい。かかる複雑なサンプルは、照射THzパルスと同じサンプル側に配置される反射された放射線の1つの検出器（又は複数の検出器）、及び照射THzパルスに対してサンプルとは実質的に反対側に配置される透過された放射線の1つの検出器（又は複数の検出器）を使用して測定される。

【0016】

多くのインタフェースを有するサンプルにおいて、透過された放射線の検出器により検出された放射線の中には、サンプル全体を通して透過されたものがある。しかし、収集された放射線の中には、複数回の反射を受けているものがある。たとえば、放射線は、球面の外部表面から球面に反射されて戻り、内部のインタフェースに向かう。次いで、該パルスは、球面外の内部のインタフェースで2回目

に反射される。この反射パルスは、透過された放射線の検出器により収集される。サンプル内のインタフェースの深さの位置は、かかる2回反射されたパルス又は偶数回の反射を受けたパルスによる信号を見ることにより決定することができる。

【0017】

したがって、画像を生成するステップは、サンプル内での偶数回の反射による検出された透過パルスの一部を抽出するステップ、及び上記偶数回の反射により生じた信号を使用して、インタフェースの位置を決定するステップ、を備えていることが好ましい。

【0018】

反射信号と透過信号を直接比較することを可能にするために、基準信号が供給されることが好ましい。かかる基準信号は、THz放射源又は画像形成されるサンプルのいずれかに関して既知の距離にある物体から離れた反射により提供されることが好ましい。放射源と画像形成されるサンプルの間に位置される好ましくはプレーナである物体から反射が取られてもよく、放射源それ自身のコンポーネントから離れた反射から取られることが好ましい。

【0019】

透過データ及び反射データの両者を収集することに加えて、システムの解像度が回折限界により制限されないことが好ましい。したがって、サンプルを照射するビームが、電磁放射線のパルスにおける放射線のうちで最も短い波長よりも短いビーム直径を有していることが好ましい。

【0020】

全体のサンプルの画像を取得するために、サンプルは、2次元の画素アレイに小分けされることが好ましい。それぞれの画素により反射された放射線、又はそれぞれの画素を通して透過された放射線のいずれかが検出される。次いで、画像は画素毎に生成される。

【0021】

画像形成されるサンプルは、x及びy方向の両者においてステップすることができるモータ付きステージ上に配置されることが好ましい。全体のサンプルの画像

は、画素毎に生成することができる。

【0022】

ビーム直径が放射線の波長よりも小さいことにより、本発明は、近接場技術を利用する。したがって、空間解像度は、THzビームの焦点合わせされたスポットサイズにより決定されない。

【0023】

サンプルを照射するために使用されるパルス放射線のビームは、非線形光学特性を有する放出体により発生されることが好ましい。放出体の物質は、該放出体が予め決定された1つ又は複数の入力周波数を有する放射線により照射された時に、該放出体が所望の1つ又は複数の出力周波数、すなわち50GHzから84THzまでの範囲における1つ又は複数の周波数を有するビームを放出するように選択されることが好ましい。放出されたビームの周波数は、入力放射線の1つ又は複数の周波数、及び放出体それ自身の非線形特性の両者により決定される。

【0024】

放出体は、可視光のパルス（すなわち、0.3 μ mから1.5 μ mまでの範囲における波長を有するパルス）が50GHzから84THzまでの範囲における波長を有するパルスに変換することができる非線形光学特性タイプを有する半導体結晶とすることができる。

【0025】

放出体は、広い範囲の物質から選択してもよい。たとえば、LiIO₃、NH₄H₂PO₄、ADP、KH₂PO₄、KH₂AsO₄、水晶、AlPO₄、ZnO、CdS、GaP、GaAs、BaTiO₃、LiTaO₃、LiNbO₃、Te、Se、ZnTe、ZnSe、Ba₂NaNb₅O₁₅、AgAsS₃、淡紅銀鉱、CdSe、CdGeAs₂、AgGaSe₂、AgSbS₃、ZnS、DAST（4-N-メチルスチルバゾリウム）又はSiである。

【0026】

他のタイプの放出体を使用することができる。たとえば、異なる周波数を有する入力ビームによる照射に応じて、及びアンテナへのバイアスの印加に応じて所望の周波数レンジにおける放射線を放出する光導電性アンテナである。

【0027】

非線形光学特性を有する放出体の場合。入力ビームを放出ビーム（THzビーム）と同相に維持するために、放出体が位相整合手段を備えていることが好ましい。位相整合手段は、放射線のうちの少なくとも1つの照射ビームに応じて、放出体において伝播する少なくとも2つの異なる周波数信号の間での位相整合を強化するためのタイプとすることができる。位相整合手段は、照射放射線ビームの成分に沿った、その屈折率における空間的な回転を有する。

【0028】

サンプルを照射するビームの直径は、放出体を照射する可視又は近赤外ビームの直径により決定されることが好ましい。この状況において、ビームを焦点合わせするために、サンプルと放出体の間に余分な光学活性成分を有する必要がある。しかし、かかる構成において、サンプルは、放出体に接近して配置される必要がある。サンプルを放出体に直接取り付けてもよい。代替的に、サンプルは、半導体の放出体の非常に近くに取り付けなくてもよい。たとえば、10 μm から 500 μm までの間である。また、THz放射線に対して目に見えない光受動部品、すなわちウィンドウにサンプルを取り付けなくてもよい。このウィンドウは、ビームを焦点合わせするための役割を果たすものではない。

放出体がたとえばZnTeのような有害な物質を備えている場合、放出体とサンプルとを分離することが好ましい。

【0029】

本発明の方法において、透過された放射線パルス及び反射された放射線パルスの両者が測定される。上述したタイプの放出体が使用される時、反射されたTHzパルスは、分析のために反射されたTHzとして収集される前に、（著しい損失なしで）放出体を通して通過して戻らなければならない。したがって、好ましくは、放出体は、THz放射線に対して、又は少なくとも照射ビームの放射線に対して透過性を有することが好ましい。低いキャリアドーピング濃度を有する半導体がこの態様について有効である。

【0030】

本発明は、サンプルの内部及び外部形状を決定するために透過及び反射の両者を

使用している。反射された信号の検出器での測定に必要なことは、サンプル内で深く位置される湾曲したインタフェースから一旦反射されたパルスが回避されることである。しかし、反射信号は、前面のインタフェースに近い湾曲したインタフェースから測定される。サンプルのサイズ、測定されるサンプルの前面に近い表面又はインタフェースの半径の範囲を許容するために、放出体は十分に大きく、全ての反射ビームが放出体を通して通過して戻ることができなければならない。

【0031】

エミッタが非常に小さい場合、又は画像形成が放出体のエッジの非常に近くで行われる場合、反射の中には放出体の取り付けによりブロックされるものがある。より小さな結晶を使用することができるために、サンプルの領域を画像形成するためにサンプルを移動することが好ましい。放出体及び該放出体の入力ビームの両者と相対的にサンプルが移動する時、より小さな放出体を使用することができる。

【0032】

放出体のサイズを更に減少することは、「THzウィンドウ」に取り付けることである。ウィンドウの物質は、たとえばポリエチレン、ポリシレン、高抵抗シリコン、Z-水晶又はTPX（ポリ-4-メチルペンテン-1）とすることができ、少なくとも照射ビームに対して実質的に透過性がなければならない。ウィンドウは、薄いことが好ましく、たとえば、50から300ミクロンである。これは、THzビームがサンプルに到達した時に、THzビームの直径が最も短い波長の成分よりもなお短いことを保証するためである。ウィンドウのサイズは、無視しうる損失により全ての反射ビームが収集するために十分な大きさである。THzに対して実質的に透過性のあるウィンドウに放出体が設けられるため、THzは放出体についての取り付けを通して通過することができる。

【0033】

また、たとえば、電子光学的サンプリング及び光導電性検出といった従来の可干渉性THz検出方法を使用して、THzビームをある点に焦点合わせしなければならず、したがって、異なるTHzビームが後続する反射を取る経路についての

情報が失われる。この問題は、CCDカメラを使用することにより対処する。したがって、反射されたTHzビームの検出においてCCDカメラが使用されることが好ましい。この検出方法により、反射技術は湾曲された表面の形状を作り出すことができ、内部及び外部の絶縁表面の間の形状における差を作り出すことができる。

【0034】

なお、CCDカメラは、THzを直接検出するために使用されないことが好ましい。THzの代わりに、電気光学的成分が可視又は近赤外放射線に変換され、次いで、近赤外、可視放射線はCCDにより収集される。IR又は可視放射線へのこの変換は、AC Pockels効果をサポートする物質を通してTHzビームで偏光された基準ビームを通過させることにより達成される。次いで、この物質により放出される光は、偏向子を通してCCDに通過される。THz信号により回転されたその偏光を有していた光のみが偏光子からCCDに転送される。

【0035】

また、オフアクシス放物線ミラーを使用して出力光を収集する時、ミラーの中央とエッジの間の異なる光学経路長による、僅かな時間遅延が存在する。結果的に、反射ビームの異なる経路長により、パルスは検出器での異なる時間で到達することになる。内部の絶縁層の位置によるパルスの時間シフトと、サンプルからの反射と光学的ミラーのうちの1つによる異なる経路長との間の結合である時間シフトとの間で区別することが容易ではないため（可能である場合）、これにより問題が生じる。

【0036】

この問題もまた、CCDカメラを検出器として使用することにより対処することができる。THzを測定することができる場合、CCDカメラを使用して、全ての反射されたTHzビーム、時間的及び空間的なシフトを含んでいる2次元領域を画像形成することができる。言い換えれば、CCDカメラを使用することにより、サンプルに関するより正確な情報を得ることができる。

【0037】

CCD技術を使用して、サンプルから透過された放射線及び反射された放射線の

両者を収集することができる。多くの状況のように、透過されたビームもまたオフアクシスで転送してもよい。

【0038】

本発明の方法において、飛行時間を使用する方法により、データを導出することができる。サンプルの入口のように、サンプルの屈折率における変動によりその速度は変化する。したがって、サンプルを通してのパルスの飛行時間を測定することにより、サンプル形状の画像は、透過を使用して取得することができる。

【0039】

英国出願番号99401667の周波数領域での分析技術を使用して、構造の組成を決定することができる。この出願において、透過された又は反射された複数の周波数のうちの単一周波数が使用され、画像が生成される。あるケースでは、狭い範囲の周波数、或いは特定の周波数又は周波数レンジの選択について研究されている。

【0040】

選択された周波数レンジは、サンプルを照射するために使用される通過される電磁放射線の全レンジの3分の1よりも少ない周波数レンジに典型的に設定される。より好ましくは、選択される周波数レンジは、サンプルを照射するために使用される通過される電磁放射線の全周波数レンジの10%よりも少ない。

【0041】

たとえば、水は、THz放射線の強い吸収体である。50GHzから500GHzまで、30THzから45THzまで、57THzから84THzまでの水分吸収スペクトルにおいて「ウィンドウ」が存在する。サンプルが50GHzから84THzまでの周波数レンジにより照射される場合、1つ又は複数の以下の選択された周波数レンジ、50GHzから500GHzまで、3000GHzまで、30THzから45THzまで、及び57THzから84THzまでを使用して画像を生成することが好ましい。画像は、選択された周波数レンジにわたり統合することにより生成されてもよい。

【0042】

したがって、上述のような透過された情報を分析することにより、1つの周波数

又は選択された周波数範囲により、画像を作成することができる。また、複数の画像を複数の周波数から導出してもよく、又は1つの画像を2つ又は2を超える固有の周波数から導出してもよい。これは非常に強力な分析であり、決定される物質の成分における変動を許容することができる。

【0043】

1つ又は複数の画像を様々なやり方で生成してもよい。たとえば、複数の異なる周波数から画像の系列を生成してもよい。

一般に、本発明は、それぞれの画素についての時間的なデータを検出するために配置される画像形成装置を使用して実行される。該データをフーリエ変換して、周波数領域 $E(\omega)$ における複素 THz 電界を与えることが好ましい。

【0044】

この複素 THz 電界 $E(\omega)$ から様々なやり方で画像を取得することができる。たとえば、以下による。

(i) サンプルのパワースペクトル $P_{sample}(\omega)$ 、及び基準信号のパワースペクトル $P_{ref}(\omega)$ を計算してもよい。次いで、選択された周波数レンジにわたる統合にわたっての選択された周波数で、それぞれの画素について、所与の周波数についての2つのパワースペクトル間の差をプロットすることにより、画像を生成することができる。

(ii) サンプルのパワースペクトル P_{sample} 、及び基準パワースペクトル P_{ref} を小区分して透過率を与えてもよい。ついで、選択された周波数レンジにわたる統合にわたっての選択された周波数で、それぞれの画素について、透過率をプロットしてもよい。

(iii) 複素電界 $E(\omega)$ から周波数に依存する吸収係数 $\alpha(\omega)$ を計算し、選択された周波数レンジにわたる統合にわたっての選択された周波数で、それぞれの画素について、プロットしてもよい。

(iv) 周波数に依存する屈折率 $\eta(\omega)$ もまた、複素電界から計算してもよく、選択された周波数レンジにわたる統合にわたっての選択された周波数で、それぞれの画素について、プロットしてもよい。

【0045】

検出された時間的な電界は、ビーム経路における媒質の複素誘電率の完全な記述を与える位相及び振幅情報の両者を含んでいる。特徴付けられるサンプルは、ビームに挿入され、サンプルを通して伝播したパルス又はサンプルから反射されたパルスの形状は、サンプルなしで取得された基準の時間的なプロファイルと比較される。複素電界 $E(\omega)$ と基準信号 $E_{ref}(\omega)$ の割合が計算され、サンプルの複素応答関数 $S(\omega)$ が与えられる。最も簡単な場合、複素応答関数は、以下のように与えられる。

【0046】

【数1】

$$S(\omega) = \frac{E(\omega)}{E_{ref}(\omega)} \propto \exp\left(\frac{i\omega d}{c}(\eta(\omega) - 1)\right) \exp(-\alpha(\omega)d) \quad (1)$$

ここで、 d はサンプルの厚さ、 c は真空における光の速度、 η は屈折率、及び α は吸収係数である。経験的な吸収係数 $\alpha(\omega)$ 及び屈折率 $\eta(\omega)$ は、以下に従う振幅 $S(\omega)$ の $M(\omega)$ 及び位相 $S(\omega)$ の $\phi(\omega)$ のそれぞれから容易に抽出してもよい。

【0047】

【数2】

$$\alpha(\omega) = -1/d \ln(M(\omega)) \quad (2)$$

$$\eta(\omega) = 1 + (c/\omega d) \phi(\omega) \quad (3)$$

サンプルの絶縁インタフェースでの反射を説明するために、式(1)～(3)において追加の項が含まれていてもよい。これにより、多層サンプルの正確な分析が可能となる。

これらのパラメータは、以下のように、サンプルの複素誘電関数 $\varepsilon(\omega)$ に簡単に関連付けることができる。

【0048】

【数3】

$$\varepsilon(\omega) = (\eta(\omega) + ik(\omega))^2 = (\eta(\omega) + i\alpha(\omega)c/2\omega)^2 \quad (4)$$

(i) ~ (iv) において示されたように導出されたデータは、カラー又はグレイスケール画像のいずれかとして直接プロットされてもよい。ここで、それぞれの画素についてのカラー又はグレイの陰は、所与の振幅を表す。

【0049】

1つの周波数の代わりに、選択された周波数レンジ、結果及び該レンジにわたり統合された(i) ~ (iv)のデータを選択することができる。次いで、統合されたデータをプロットすることができる。

【0050】

好ましくは、上記(i) ~ (iv)のいずれかに従うプロセスのデータを様々なバンドに小分けしてしてもよい。たとえば、ある値を下回る全てのデータを値0に割当て、次の振幅レンジにおける全てのデータを1に割当てる。これらのレンジは、振幅において等しい幅を有していてもよいし、異なる幅を有していてもよい。異なる幅は、たとえば、THzのサンプル吸収における小さな変動があるサンプルの領域におけるコントラストを強調するために、コントラストを改善するために好ましい。

【0051】

好ましくは、本発明では、2つ又は2を超える周波数を使用する。該2つの周波数からのデータは、上記(i) ~ (iv)のいずれかに従い処理される。次いで、データは、上述した1つの周波数について記載されたようにバンド分けされる。

【0052】

データは、2つのバンドに分割されてもよい。一方を値「0」に割当て、他方を値「1」に割当てる。次いで、両方の周波数からのデータは、たとえば、AN

D, OR, NOT, NAND, XOR等のブール代数表現のようなルールを使用して、互いに加算することができる。

【0053】

勿論、本発明により、画像は2つの異なる周波数から比較することができる。THzに対する吸収がある周波数レンジにわたり変化する物質を識別するために特に有効となる場合がある。

【0054】

したがって、複雑な画像を生成することができる。このシステムは、胸部の3次元構造に関する空間情報及び成分情報の両者を導出することができる乳がんの検出において特に有効である。また、本発明を使用して、歯及び骨を画像形成することができる。

【0055】

本発明の方法により、内部成分、形状及び内部表面の位置を決定することができる。したがって、サンプルの3次元画像は、本発明の3つの態様の方法から生成することができる。第2の態様では、本発明は、以下を備える装置を提供する。

a) 25GHzから100THzまでの範囲における複数の周波数を有するパルス電磁放射線の照射ビームにより、画像形成されるサンプルを照射するための手段。

b) サンプルを通して透過された放射線及びサンプルから反射された放射線の両者を検出するための手段。

c) ステップb)において検出された放射線からサンプルの画像を生成するための手段。

【0056】

上述した理由のため、近接領域で画像形成が実行されることが好ましい。したがって、サンプルを照射するためのステップが25GHzから100THzまでの範囲における複数の周波数を有する放射線のビームを放出するための放出体を備えていることが好ましい。該放出体は、光学的な非線形特性を有しており、可視又は近赤外周波数レンジにおける周波数を有する入力ビームで放出体が照射された時、25GHzから100THzまでの範囲における周波数を有するビームが

放出される。パルス放射線の入力ビームは、放出されたビームのうちで最も短い波長のビーム直径よりも短い直径を有することが好ましい。

【0057】

サンプルを画像形成するために、サンプルは、2つの直交する方法において画素毎にステップされるべきである。したがって、本装置は、2つの直交する方向において画素毎にステップすることができるように構成されるモータ付きステージを更に備えることが好ましい。

【0058】

サンプル自身は、モータ付きステージに取り付けることができる。代替的に、サンプル及び放出体は、モータ付きステージに取り付けることができる。

本発明は、以下の添付図面において示される、好適な限定するものではない実施の形態を参照して記載される。

【0059】

〔発明の実施の形態〕

図1は、近接場での透過及び反射による画像形成システムの概略図である。焦点合わせされた可視ビーム（可視電磁領域における波長、すなわち典型的に $0.3\mu\text{m}$ ～ $1.5\mu\text{m}$ の間の波長を有する）は、THz放出体3に焦点が合わせられている。THz生成クリスタル3は、可視光で照射された時に、THzレジーム（50GHzから84THzまで）における放射線を放出する非線形特性を有する結晶である。

【0060】

THzパルス5は、THz生成クリスタル3から放出される。放出されたビームの現実の周波数は、入力照射の周波数、及び放出体自身の物理的特性により決定される。所望の周波数レンジを有する放出されたビームは、放出体の物質を及び入力照射の周波数の適切な選択により得ることができる。

【0061】

THz生成クリスタルに衝突する入力径の直径は、放出体3からのTHzパルスにおいて生成される最も短い波長を有するビームの直径よりも短い。サンプル7は、放出体3に直接取り付けられている。したがって、サンプルは、THz光の

うちで最も短い波長のビーム直径よりも短いビーム直径を有するTHz放射線のビームで画像形成される。したがって、サンプルから取得される画像の解像度は、回折限界により制限されない。

【0062】

THzパルスの中には、サンプル7を通して透過されるものがある。透過されるTHzは、参照符号8により示される。また、THzパルスは、サンプル7から反射される。この特別な例において、THzパルス5の第1の反射は、サンプル7と放出体3の間のインタフェース11で生じる。

【0063】

サンプル7内の第2の絶縁インタフェース13により、第2に反射されたTHzパルスである反射R₂が生じる。このパルスは、時間 $\Delta\tau_1$ で反射され、THzパルスがサンプル7から離れる時に第3の反射R₃が生じる。反射パルス及び透過パルスの両者を収集することにより、サンプル7についてのかなりの詳細を決定することができる。

【0064】

反射されたTHzパルス10は、オフアクシス放物線ミラー12により収集される。次いで、通過した反射THzパルスは検出器（図示せず）に向けて反射される。オフアクシス放物線ミラー12は、放射源（図示せず）からの焦点合わせされた可視ビーム1を放出体3に伝送するためのホール14を有している。

【0065】

図2は、完成されたシステムを示している。便宜上、同じ符号は、図1及び図2に関して同じ要素を示している。パルスレーザ源21は、可視光1のビームを提供する。光1のビームは、ビームスプリッタ23に衝突する。ビームスプリッタは、半銀付けミラー等であってもよい。ビームスプリッタ23は、可視パルスの一部25は放出体3の方向に通過され、可視パルスの第2部分27は検出機構の方向に反射される。このビーム27は、検出機構において基準ビームとして最終的に使用される。

【0066】

THzビームを生成するために使用される可視ビーム25を最初に見ると、該ビ

ームはオフアクシス放物線ミラー29を通して最初に通過される。オフアクシス放物線ミラー29はホールを有しており、そこを通して可視パルス31の伝送を可能にする。次いで、パルスは、図1において示されるような放出体3に向けられる。

【0067】

図1に関して上述されたように、THzパルス5は、サンプル7の外部表面、及び絶縁内部表面から反射される。次いで、この反射されたパルス31は、オフアクシス放物線ミラー29により収集される（可視パルス25が通過したのと同じミラーである）。ミラー29は、画像を生成するために使用されるTHz検出器に該パルス31を反射する。

【0068】

第2のオフアクシス放物線ミラー35は、サンプル7から透過されたTHzパルス37を収集するために使用される。オフアクシス放物線ミラー35は、透過されたパルスを進めてTHz検出器39に向ける。

【0069】

可視パルス27は、ミラー43、45及び47を介してTHz検出器33及び39に向けられる。光遅延線49は、可視パルス27と収集された反射及び透過THz放射線とを同期させるために設けられている。反射されたTHz放射線及び透過されたTHz放射線がサンプルを通して通過する時、パルスが遅延される。光遅延線はこの作用を補償する。

【0070】

図3は、図2の画像形成システムの変形例を示す図である。図3は、図2と非常に類似している。しかし、ここでは、可視ビーム25は、2色性ビームスプリッタ51に衝突する。このビームスプリッタ51は、可視光に対して理想的に100%反射性があるが、反射されたTHzビームに対しては100%透過性がある。

【0071】

この構成において、2色性ミラー51は、ビームをオフアクシス放物線ミラー29に反射する。次いで、オフアクシス放物線ミラーは、可視ビームを放出体3に

向ける。可視ビーム25がオフアクシス放物線ミラーから反射される時、オフアクシス放物線ミラーを使用して、ビームを短い直径にして生成クリスタル3に焦点合わせすることができる。

【0072】

反射されたTHzパルス31は、反射されたパルスがオフアクシス放物線ミラー29により収集されるような、図1及び図2について記載されたような同じやり方で収集することができる。オフアクシス放物線ミラー29は、反射されたパルス31を2色性ミラー51に向ける。2色性ミラーは、THzに対して透過性があるため、パルス31を検出器33に透過させる。

透過された放射線37の収集、及び基準ビーム27の検出器33及び39への方向付けは、図2において記載されたものと同じである。

【0073】

図4は、電子-光学検出を使用した完全な検出システムを示している。このシステムは、図2の検出と全く同じである。しかし、ここでは、THz検出器33及び39がより詳細に示されている。検出システム33及び39は同じである。したがって、簡単のために、検出器33のみについて説明する。

【0074】

検出器33において、オフアクシス放物線ミラー103を使用して、反射されたサンプルの情報101を伝送するTHzビーム、及び可視光ビーム27が結合される。オフアクシス放物線ミラー103は、そこを通して可視ビーム27の伝送のためのホールを有する。次いで、可視ビーム27及び反射ビーム101の両者は、THz検出クリスタル105に向けられる。

【0075】

可視光ビーム27は、検出クリスタル105に照射される基準ビームとしての役割を果たす。それぞれのアクシスは、結晶の通常軸及び臨時軸のそれぞれに沿って、固有の屈折率 n_o 及び n_e を有する。第2のTHz放射線ビーム101がない場合には、線形に偏光された基準ビーム27は、その偏光に対して無視しうる変化で検出クリスタル105を通して通過する。

【0076】

出願人は、偏光が回転される角度は無視しうるものではあるが、線形に偏光されたビームが僅かに楕円とすることができることを明確にすることを望んでいる。この作用は、可変の遅延の波面、たとえば4分の1波面107により補償される。放出されたビームは、4分の1波面107を使用して、循環的に偏光された光に変換される。

【0077】

次いで、放出されたビームは、ウォラストンプリズム109のようなビームスプリッタにより、2つの線形に偏光されたビームに分割される。該プリズム109は、偏光されたビームの2つの直交する成分を平衡ダイオードアセンブリ111に向ける。平衡ダイオードの信号は、2つのダイオードの間の出力における差がゼロであるように、波面107を使用して調節される。

【0078】

しかし、検出器107が基準ビームと同様に第2のビーム101（この場合、THzレンジにおける周波数を有するビーム）を検出する場合、偏光が回転される角度を無視することはできない。これは、THz電界が軸 n_e 及び n_o のうちの一方に沿った目に見える（基本的な）放射線の屈折率を修正するためである。これにより、検出器105が楕円となった後に可視フィールドとなる。したがって、プリズム109により分離された偏光成分は、等しくない。ダイオード出力の間の信号における差は、検出信号を与える。

【0079】

基準ビーム27及びTHzビーム101は、クリスタル105を通して通過する時、同相にあるべきである。さもなければ、偏光回転が不明になる。したがって、検出クリスタル105は、クリア信号を生成するための位相整合手段を有している。

【0080】

光遅延は、キューブミラー121及び平面ミラー123により導入される。キューブミラー121は、光経路長及び基準ビーム27の長さを変化するために前後に移動される。

【0081】

図5は、図4のシステムに関する変形例を示す。ここでは、光導電性THz検出器131及び133による光導電性による検出が使用されて、透過及び反射されたTHzビームを検出する。

【0082】

図4及び図5において示されるシステムは、両検出要素に供給する（キューブミラー121及び平面ミラーにより達成される）1つの光遅延線を有している。代替的に、それぞれの検出要素についての分離された遅延線を使用することができる。これは、非常に厚い物体が画像形成される時に必要となる場合がある。ここでは、透過されたTHzパルスは、前面の表面から反射されるパルスよりも長い遅延を受ける。したがって、1つの光遅延が適さない場合がある。

【0083】

オフアクシス放物線ミラー29、35を慎重に配置して、透過されたTHzパルス37及び反射されたTHzパルス31の両者を効果的に収集することを保証する必要がある。

【0084】

THzビームが湾曲した表面、すなわちTHzビームの方向に対して平行でない正常な表面を有する表面に照射される場合、THzビームは同じ軸に沿って反射されない。代わりに、THzビームは、表面の湾曲と共に増加する角度で反射される。

【0085】

2つの上述したTHz検出方法において、THzは、検出のためのある点に焦点合わせされる。したがって、異なるTHzビームが続いて反射する経路についての情報が失われる可能性がある。

【0086】

また、オフアクシス放物線ミラーを使用して出力を収集する時、ミラーの中央と縁の間での異なる光経路長による僅かな時間遅延がある。結果的に、ビームを反射する異なる経路長により、パルスは検出器で異なる時間で到着する。図4及び図5の検出方法を使用することにより、ビームは1点に焦点合わせされる。これにより、絶縁層の妨害による時間シフトと、絶縁位置とミラーに関する異なる経

路長との結合である時間シフトとの間で区別することが難しくなるので（不可能でない場合）、問題が生じる。

【0087】

ミラーに対して異なる経路の作用は、表面／インタフェースは鋭く湾曲している時に最も大きくなる。しかし、CCDカメラを使用する場合、THzビームの時間的及び空間的なシフトの両者を測定することができ、これにより、画素毎のサンプルの正確な曲率を決定することができる。

【0088】

図6は、図4及び図5と同じシステムを示している。異なる点は、図6の検出機構がCCDを使用している点である。

基準ビーム27は、オフミラー47で反射され、偏光子142を通してビームを通過することにより偏光される。次いで、偏光された基準ビーム27は、ビームスプリッタ102を使用して反射された放射線101と結合される。ビームスプリッタは、THz放射線に対して透過性があり、THz放射線は、ビームスプリッタ102を通して透過される。しかし、可視光に対しては透過性がなく、反射され偏光された基準ビーム27は、THzビームと結合される。

【0089】

反射されたTHzビーム101及び基準ビーム27は、検出器クリスタル141の方向に向けられる。この検出メカニズムは、AC Pockles効果に基づいており、基準ビーム27の偏光は、反射されたTHzビーム101の存在により回転される。次いで、緊急のビーム139が偏光子140を通して通過される。偏光子140及び142は、互いに関して交差される。

【0090】

したがって、THzビームが存在しない場合、ビーム27の偏光は回転されず、ビームは偏光子140によりブロックされる。しかし、ビームが回転される場合、偏光子140は、透過されたビーム139の少なくとも1部を透過させる。次いで、出力140の出力は、CCDカメラ143に向けられる。したがって、CCDカメラ143を使用し、THz放射線の存在を検出して、CCDにより検出された空間の変化を介して反射されたTHzビームの空間依存性を与える。

【0091】

図7は、図6のシステムの変形例を示している。図7のシステムは、図6のシステムよりもコンパクトである。可視入力ビーム23は、図1を参照して上述されたように、オフアクシス放物線ミラーにおけるホールを通して放出体3に伝送される。オフアクシス放物線ミラー29が使用されて、反射された放射線を収集し、検出器33に向ける。同様に、透過された放射線は、オフアクシス放物線ミラー35により収集され、検出器39に向けられる。

【0092】

このシステムと図6のシステムの間主な差異は、基準ビームが反射されたTHzビーム及び透過されたTHzビームに結合されるやり方である。基準ビーム27は、上述したように光遅延線49を通して供給される。ビームの部分27aは、反射されたTHz信号のために使用されることとなり、第1の交差される偏光子201aを通して通過される。次いで、この偏光された基準ビームは、反射されたTHzパルス31及び偏光された基準信号27aの両者が検出器33に向けられるように、オフアクシス放物線ミラー29における第2のホールを通して通過される。

【0093】

図6を参照して記載されたのと同様に、THzビーム31により基準ビーム27aの偏光の回転が生じる。第2の偏光子203aは、回転されていないいずれかの放射線の部分をブロックする。201A及び203aは、交差された偏光子である。次いで、偏光子は、CCDカメラ143に供給される。

【0094】

透過されたビームについての基準ビームは、ビーム27bとして分割される。次いで、このビームは、偏光子201bを通して通過され、偏光された基準ビームが得られる。次いで、ビーム27bは、オフアクシス放物線ミラー35におけるホールを通して通過され、透過されたTHz放射線37を基準ビーム27bに結合する。

【0095】

次いで、上述したように、基準ビーム27bの偏光の回転を通して、透過された

THzビームの存在が検出される。次いで、緊急のビームは偏光子203bに供給される。偏光子203bがその偏光ベクトルを回転していないいずれかの放射線を偏光子203bがブロックするように、偏光子201bと交差される。

【0096】

図8は、図7のシステムに非常に類似したシステムを示している。ここでは、2つのCCDカメラ143及び145の代わりに、1つのCCDカメラ151が使用され、透過された放射線及び反射された放射線の両者を検出している。

【0097】

特に、第2の交差された偏光子203aにより透過されたビームは、CCDカメラ151に向けられる。また、第2の交差された偏光子203bにより透過されたビーム（透過放射線）もまた、CCDカメラ151に向けられる。1つのCCDカメラアレイ要素は、反射された画像及び透過された画像が同時に検出されることを意味している。

【0098】

図1～図8において、サンプルは放出体に取り付けられて示されている。この配置は、図9において特に示されている。サンプルの領域の完全な画像を得るために、サンプルは、画素毎にx及びy方向の両者において、THzビームに相対的にステップされる。これは、放出体にサンプルを取り付け、モータ付きステージを使用して放出体及びサンプルの両者を互いに移動することによる。

【0099】

画像形成システムにおいて、反射された放射線及び透過された放射線の両者が収集されなければならない。したがって、反射されたTHzパルスは、オフアクシス放物線ミラー（図1～図8における参照番号29）に到達する前に、放出体クリスタルを通して通過され戻らなければならない。

【0100】

言い換えれば、放出体は、反射されたTHzのためのウィンドウとしての役割を果たす。また、大きな範囲での測定されるサンプルのサイズ及び表面の曲率を可能とするために、放出体は、全ての反射されたビームが放出体を通して通過させ戻すことができるように、十分に大きくなければならない。

【0101】

図9bは、より小さな放出体を使用することができる配置を示している。この配置において、放出体により接近してサンプルが取り付けられている（たとえば、 $10 \sim 500 \mu\text{m}$ の間、サンプルのみがx-y平面において移動される）。言い換えれば、サンプルは放出体に相対的に移動される。高い空間解像度を確保するために（すなわち、近接場領域）、サンプルは放出体表面の近くに保持されなければならない。

【0102】

また、放出体3の表面から $10 \sim 100 \mu\text{m}$ について取り付けられている薄いウィンドウにサンプルが取り付けられていてもよい。この場合、放出体は、サンプルからの全ての反射されたパルスがオフアクシス放物線ミラー29に到達することができるように十分に大きいことを必要とする。

【0103】

図9bの構成において必要とされる放出体のサイズは、図9aの放出体のサイズよりも小さい。放出体は、サンプルからの全ての反射パルスを捕獲するために十分に大きいことを必要とする。図9bにおける配置において、放出体は、画像形成されるサンプルの小さな部分からの全ての反射パルスを捕獲するために十分な大きさを必要とする。

【0104】

図9cにおいて、放出体はTHzウィンドウに取り付けられている。放出体のための取り付けによりTHzが透過される時、全ての反射されたTHzパルスを放出体を通して通過させて戻すための必要条件がないので、放出体をより小さくすることができる。放出体は、THzビームを生成するために十分に大きくなければならない。

【0105】

また、サンプルは、放出体とは反対側に放出体に接近して取り付けられる。この配置において、サンプルのみが移動される必要がある。したがって、放出体のみが、領域において数平方ミリメートルである必要がある（たとえば、 $25\text{mm} \times 25\text{mm}$ 以下）。ウィンドウ4は、THzビームがサンプルに到達した時に、T

H z ビーム直径が最も短い波長成分よりもなお短いことを保証するために薄い。

【0106】

図10は、本発明の原理を説明するための簡略化された例として使用される様な球面301を示している。球面301は、球面301と配置される空間303との間でのTHz周波数で屈折率における差があるように絶縁材料から構成されている。

【0107】

絶縁層の厚さdは、以下の関係を使用して時間遅延 τ から導出することができる。

$$\tau = d(n-1)/c \quad (1)$$

ここで、nは放射線が浸透する媒体の屈折率であり、cは自由空間における光速である。

【0108】

THzビームは、球面301に照射される。THzビーム305は、球面301を通して透過され（ビームT1として図示）、透過された放射線の検出器306により収集される。また、ビームは、第1のインタフェース307（ビームR1）及び第2のインタフェース（ビームR2）から反射される。

【0109】

この説明のために、インタフェースは、放射線のビーム305に遭遇される順番に番号付けされている。反射されたTHzビームは、反射された放射線の検出器308により収集される。

【0110】

透過されたビームT1の時間遅延 τ_{t1} を使用して、サンプルの厚さを決定することができる。しかし、物体が球面（円形）、方形又はいずれか他の形状であるかを決定することは不可能である。これは、 τ_{t1} が等しい厚さの全ての形状について同じであるからである。

【0111】

たとえば、形状311は、球面301と同じ厚さを有している。しかし、形状301の前面のインタフェース307は平坦である。球面301及び形状311の

両者は、透過された信号の同じ飛行時間を生じる。

【0112】

物体の形状を確立するために、第1の表面307から反射されたパルスR1に関連する時間遅延が必要とされる。これは、反射されたTHzの検出器308により測定される。このパルスの飛行時間 τ_{t1} は、第1の絶縁体フェース（たとえば、空気-球面）の位置を確立する。これより、サンプル301の厚さが τ_{t1} から知ることができるので、第2のインタフェース309の位置を決定することができる。

【0113】

したがって、その画素での τ_{t1} に関してそれぞれの画素の座標（ x ， y ）で差 τ_{t1} 、 $-\tau_{t1}$ をプロットすることにより、球面301の形状をプロットしてもよい。

たとえば、テラヘルツに対して透過性のあるウィンドウの上部表面又は下部表面（図1において図示せず）、照射ビーム305及びサンプル301の間の配置、又はテラヘルツ放出体自身における内部反射（図1において図示せず）のような、既知の位置の基準平面からの別な反射に関して τ_{t1} をプロットすることにより、物体の絶対的な位置を確立してもよい。

【0114】

理論において、球面-空気の第1のインタフェース309からの反射されたパルスR2の飛行時間 τ_{t2} を使用することにより、同様なやり方で形状を描くことも可能である。しかし、このやり方が実用的でない2つの理由がある。第1に、パルスR2は、球面を通して通過する時に減衰のために弱くなりがちである。これは特に、象牙質、エナメル、キャビティパルプが全てテラヘルツを吸収する人間の歯のようなサンプルでは真である。

【0115】

第2に、球面-空気のインタフェース309の湾曲した性質により、反射された信号R2が検出器の視野の外になることを左右する。信号R1は、検出器308に近く、より効果的に収集される。この点は、任意の形状の物体における制限をより多くする。任意の形状では、背面の表面が湾曲されているか、輪郭付けされ

ている。したがって、背面の表面309の先験的な知識なしでどの角度R2が反映されるかを判断することは困難、又は不可能である。

【0116】

透過された信号T1は、この場合R2よりも優れている。これは以下のためである。1) 透過された信号はR2よりも強くなりがちである。これは、該信号が球面を1度だけ通過し、その減衰がR2よりも少ないためである。2) 透過された放射線の検出器306を物体にきわめて近く正確に配置することができ、全ての放射線T1を収集することができる。

【0117】

図10の球面は、内部のインタフェースを有さずに一様である。複数の内部のインタフェースが存在する状況により複雑化される。図11は、図10のより一般的なケースを示しており、ここでは3次元サンプル313が複数の同心の絶縁球面を備えている。サンプルは、自由空間“a”において配置されている。サンプルは、最も外側の球面“b”、中間の球面“c”及び内側の球面“d”を有している。一般に、それぞれの球面は、異なる吸収係数及び屈折率を有している。

【0118】

図10を参照して記載されたのと同様なやり方で、サンプル313は、THz放射線305により照射される。透過された放射線は、反射された放射線の検出器308を使用して収集される。はじめに、反射された放射線の検出器により収集された信号について説明する。

【0119】

絶対座標系で画像を構築するために、たとえば、テラヘルツに対して透過性のあるウィンドウの上部表面又は下部平面、照射ビーム305及びサンプル301の間の配置（図示せず）、又はテラヘルツ放出体自身における内部反射（図示せず）のような、既知の位置の基準平面からの反射が必要とされる。

【0120】

反射された放射線の検出器308により検出された3つの最も強度が高い信号は、a-bインタフェース315、b-cインタフェース317からの反射、c-dインタフェース319からの反射である。

【0121】

a-bインタフェース315の位置は、インタフェース315から反射されたパルスに関連する時間遅延 τ_{t1} を測定することにより決定することができる。 τ_{t1} を基準平面（図示せず）から反射されたパルスに関連する時間遅延と比較して、a-bインタフェース315の位置を決定することができる。

【0122】

b-cインタフェース317の位置は、インタフェース317から反射されたパルスに関連する時間遅延 τ_{t2} を測定することにより決定することができる。 τ_{t2} をa-bインタフェースから反射されたパルスに関連する時間遅延と比較することにより、 τ_{t1} から決定された位置に関して $(\tau_{t2} - \tau_{t1})c/2n$ から決定される厚さをプロットすることにより、位置を取得してもよい。

【0123】

b-cインタフェース317の位置の決定において、領域bにおける屈折率nが使用されるべきであり、 $\tau_{t2} - \tau_{t1}$ に対する材料の寄与を補正することができる。“c”は自由空間($n=1$)における光速である。

【0124】

c-dインタフェース319の位置は、インタフェース319から反射されたパルスに関連する時間遅延 τ_{t3} を測定することにより決定することができる。 τ_{t3} をb-cインタフェース317から反射されたパルスに関連する時間遅延と比較することにより、 τ_{t2} から決定された位置に関して $(\tau_{t3} - \tau_{t2})c/2n$ から決定された厚さをプロットすることにより取得することができる。

【0125】

インタフェースb-c317の位置の決定において、領域cの屈折率nが使用されるべきであり、 $\tau_{t3} - \tau_{t2}$ に対する材料の寄与を補正することができる。

“c”は自由空間($n=1$)における光速である。

透過された放射線の検出器306により収集されたデータを使用して、「より深く」インタフェースd-c321、インタフェースc-b323、インタフェースb-a325の位置が決定される。

【0126】

反射データ及び透過データを互いに使用するためには、共通の時間ゼロを確立し、この時間ゼロの後に、様々な時間遅延 τ_{t1} 、 τ_{t2} 、...、及び τ_{t1} 、 τ_{t2} をプロットが必要である。時間ゼロは、 $T_{ref}/2$ として取ることができ、 T_{ref} は基準パルスが反射された放射線の検出器308に到達する時間である。これは、照射パルス305が基準平面を残し、サンプル313の方向に通過する本質的な時間である。

【0127】

3次元画像を構築するための次のステップは、上記反射分析から既知の位置c-d319に関して、インタフェースd-c321の位置をプロットすることである。c-dインタフェース319から反射されたビームとインタフェースd-c321から透過されたビームとの間の遅延を使用することを含んでいる。

【0128】

サンプルを通して透過された放射線は、透過される前に、複数の反射を受ける。複数の反射を受けておらず、かつサンプル313を通してちょうど透過された放射線による信号はt1である。サンプルを通してのt1の飛行時間は、 τ_{t1} である。

【0129】

透過されたビームt2は、透過された放射線の検出器306により検出されたものであり、インタフェース315、317、319、321及び323を通して透過される。しかし、ビームは、b-aインタフェース325でサンプルに反射されて戻る。t2は、c-bインタフェース323により2回目に反射され、サンプル313を出て、透過された放射線の検出器306により収集される。ビームt2の飛行時間は、 τ_{t2} である。

【0130】

透過された放射線の検出器により検出される透過されたビームt3は、インタフェース315、317、319、321及び323を通して透過される。しかし、ビームは反射されて、b-aインタフェース325でサンプル313に戻る。t3は、インタフェース321を通して透過され、d-cインタフェース321により2回目に反射され、サンプル313を出て透過された放射線の検出器

306により収集される。ビームt3の飛行時間は、 τ_{t3} である。

【0131】

透過されたビームt3は、検出され追加の遅延を受ける前に、複数の反射を受ける。これら追加の遅延を補正することが必要である。透過されたパルス3について、ある者は、透過されたパルスがインタフェースd-c321を通して最初に通過するのは何時 τ_{t3}' かを知りたいであろう。

【0132】

インタフェースc-bを通してパルスが通過する時間 τ_{t2}' は、以下から計算される。

$$\tau_{t2}' = \tau_{t1} - (\tau_{t2} - \tau_{t1}) / 2$$

インタフェースd-cを通してパルスが通過する時間 τ_{t3}' は、以下から計算される。

$$\tau_{t3}' = \tau_{t2}' - (\tau_{t3} - \tau_{t2}) / 2$$

d-cの位置は、 τ_{t3} から決定されたインタフェースc-dの位置に関して、 $(\tau_{t3}' - \tau_{t3})c/n$ から得られた厚さをプロットすることにより得ることができる(上記参照)。インタフェースd-cの位置の決定において、領域dの屈折率nが使用されるべきであり、 $\tau_{t3}' - \tau_{t3}$ に対する材料の寄与を補正することができる。この文脈における τ_{t3} は、反射されたパルス3が基準時間ゼロに関してインタフェースc-dから反射された時間である。

【0133】

c-bの位置は、 $(\tau_{t3} - \tau_{t2})c/2n$ から得られた厚さをプロットし、該厚さを上記 τ_{t3}' から得られた位置に加えることにより得ることができる。領域cの屈折率nからの材料の寄与が含まれる。

【0134】

図12は、かかるシステムが歯を走査するために技術的にどのように実現される場合があるかを示している。

サンプルは、生きた歯であり、歯ぐき333における歯331である。この歯は、3次元画像形成システム335を使用して画像形成される。3次元画像形成システムは、図10及び図11における検出器308を参照して記載されたのと

同じやり方で、THz放射線を放出して反射されたTHz放射線を検出するための役割を果たすTHz放出体／検出器337を備えている。

【0135】

歯331を通して透過された放射線は、透過されたTHz放射線の検出器339により検出される。該検出器は、図10及び図11を参照して記載された検出器306と同じやり方で放射線を収集するために使用される。

【0136】

THz放出体／検出器337、及び検出器339の詳細は、ここでは記載しない。しかし、図1～図9のいずれかを参照して記載されたような構成を使用することができる。図12において示される特別の例において、マルチエレメントの検出器が使用され、透過された放射線及び反射された放射線の両者が検出される。これは、全ての必要とされる画素から透過された放射線又は反射された放射線を同時に収集するように配置されているので、ビーム又はサンプルを走査する必要がないことを意味している。

【0137】

マルチエレメントのヘッドは、透過された放射線又は反射された放射線を収集するために構成される複数のファイバ状の光ケーブルから構成されている。検出されたTHz放射線により伝送される情報は、分析のためにプローブから送出される前に、プローブで別の形式に変換されてもよい。たとえば、THz周波数は、伝送のために増加されてもよい。

【0138】

代替的に、基準ビームが検出器に供給され、AC Pockels作用が使用されて、図4及び図6を参照して記載されたような検出されたTHz信号に従い、基準ビームの偏光の回転を可能にしてもよい。次いで、回転された偏光ベクトルを有する基準ビームは、検出器のそれぞれの要素画素について偏光している保持ファイバを使用してプローブから伝送することができる。

【0139】

検出器／放出器337及び放出器339は、プローブ341に配置されている。プローブが歯331のn位置である時、歯331がYのアーム間に配置されるよ

うに、プローブは“Y”形状をしている。検出器／放出器337及び検出器339は、歯331のいずれかの側の“Y”のアームの端部にある。

【0140】

ファイバ状の光ケーブル343は、プローブ341の逆“Y”の上部に接続されている。ケーブル343は、画像形成のためにプローブ341に放射線を伝送し、プローブ341からの情報を伝送する。

【0141】

ファイバ状の光ケーブル343は、レーザ源、遅延制御、ビームスプリッタ及びCCDカメラ345に接続されている。これらは、図6を参照して説明されている。これらは、3次元画像を表示するためのコンピュータ347に接続されている。

【0142】

図11を参照して記載されるようなやり方で、実際のデータを分析することができる。たとえば、図11において、領域を以下のように指定することができる。a＝空気、b＝エナメル、c＝象牙質、及びd＝パルプ。本発明者は、エナメル及び象牙質についての屈折率（それぞれ3.2及び2.6）、パルプ（典型的に2.0）を計算している。したがって、これらの屈折率は、式（1）と共に時間遅延を使用して厚さ及び様々な絶縁層の位置を特徴付けることができる。これにより、歯の3次元画像を構築することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明の実施の形態による近接透過及び反射画像形成システムの概略的に示す図である。

【図2】

透過された放射線及び反射された放射線の両者についての放射源及び検出器を有する、図1のシステムを示す図である。

【図3】

図2の画像形成システムの変形例を示す図である。

【図4】

検出器の詳細を有する、図2の画像形成システムを示す図である。

【図5】

検出器の詳細を有する、図2の画像形成システムを示す図である。

【図6】

検出器の詳細を有する、図2の画像形成システムを示す図である。

【図7】

図6の画像形成システムの変形例を示す図である。

【図8】

図6及び図7の画像形成システムの変形例を示す図である。

【図9a】

画像形成されるサンプルを取り付ける方法に関する変形例を示す図である。

【図9b】

画像形成されるサンプルを取り付ける方法に関する変形例を示す図である。

【図9c】

画像形成されるサンプルを取り付ける方法に関する変形例を示す図である。

【図10】

本発明の実施の形態による方法を説明するための均質な球面を概略的に示す図である。

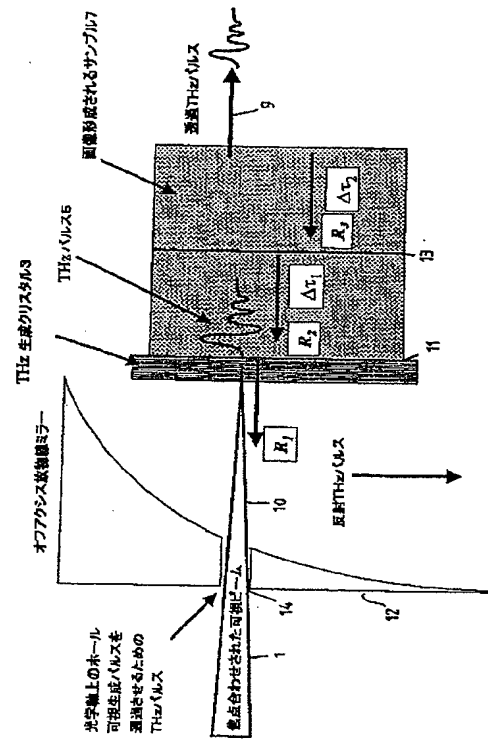
【図11】

本発明の実施の形態による方法を説明するための、内部の複数のインタフェースを有する球面の概略を示す図である。

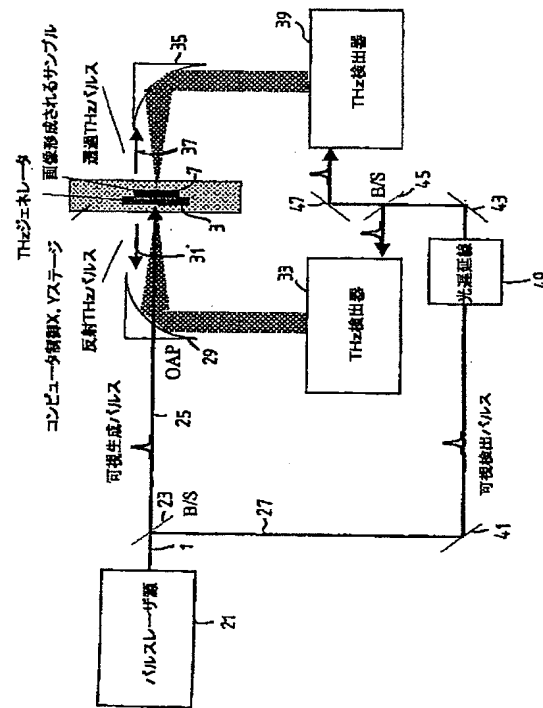
【図12】

歯を画像形成するために使用される本発明の実施の形態を示す図である。

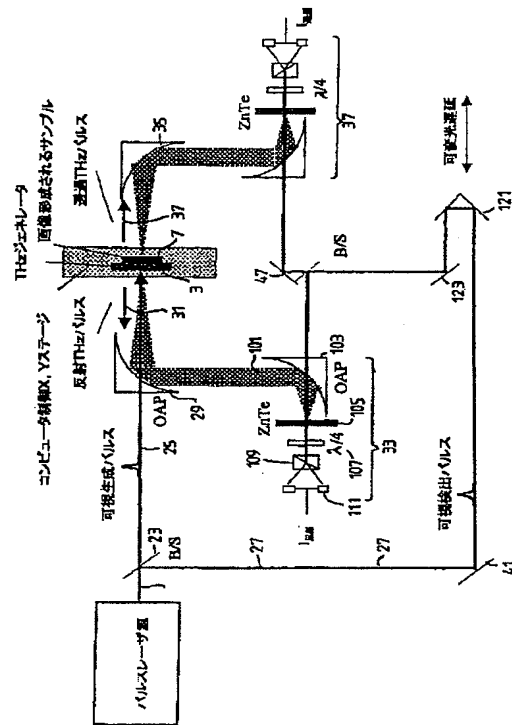
【図1】



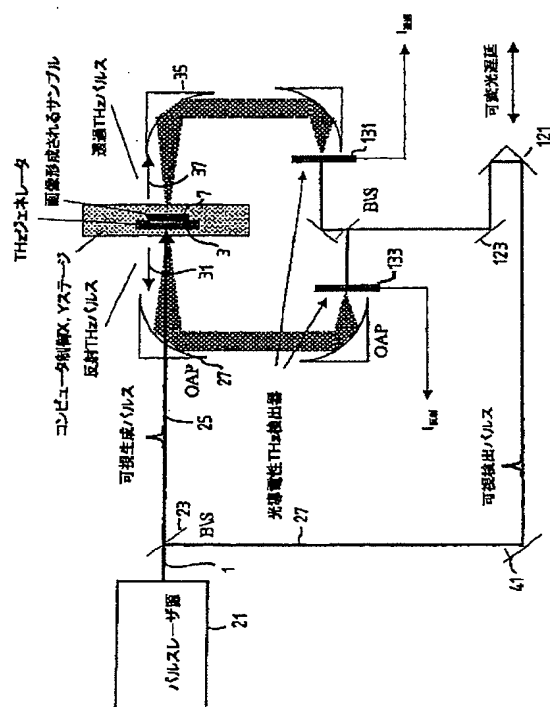
【図2】



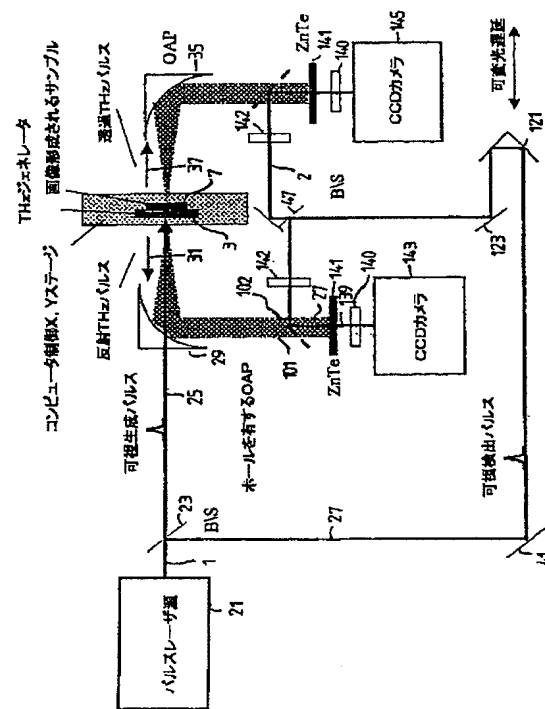
【図4】



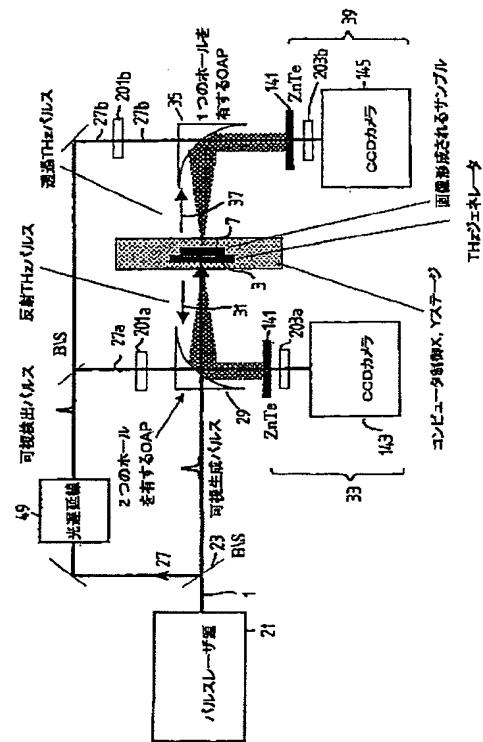
【図 5】



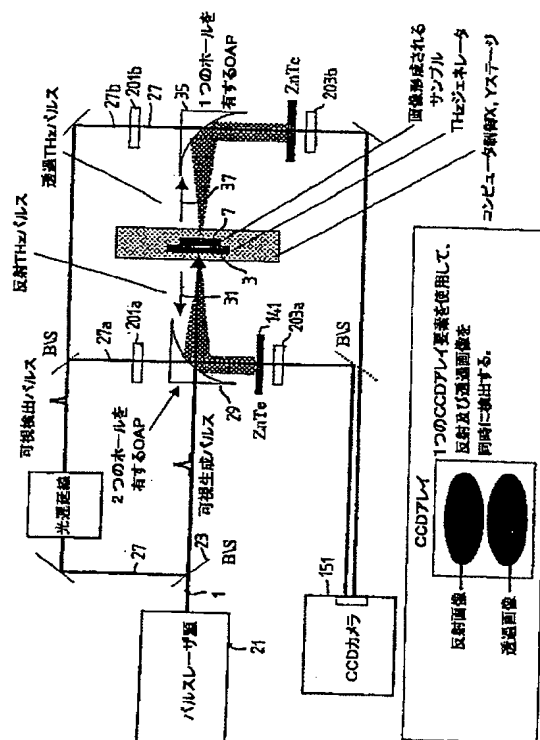
【図6】



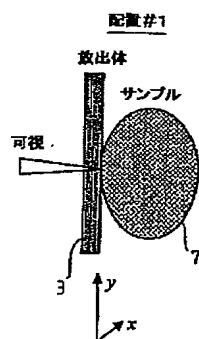
【図7】



【图 8】

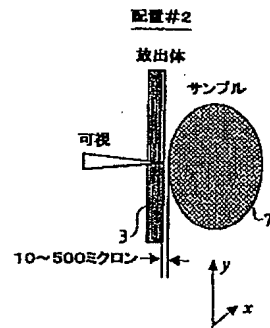


【図 9 a】



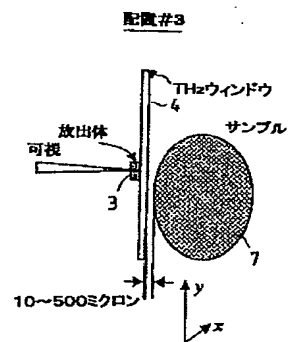
サンプル及びTHz放出体は、
モータ付きステージを使用して
互いに移動する。

【図9b】



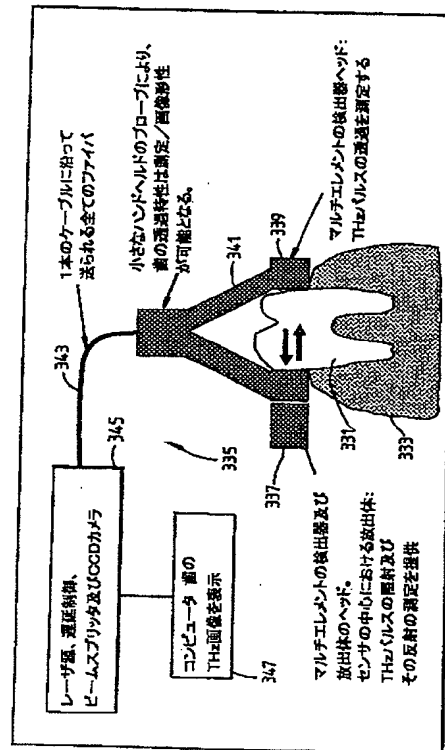
サンプルと放出体の間に
小さなギャップ(10~500ミクロン)。
サンプルのみが移動する。

【図9c】



THzウィンドウに取り付けられた
小さな放出体クリスタル。
サンプルはTHzウィンドウに接近して
取り付けられる(10~500ミクロン)。
サンプルのみが移動する。

【図12】



WO 00/75641

PCT/GB00/02168

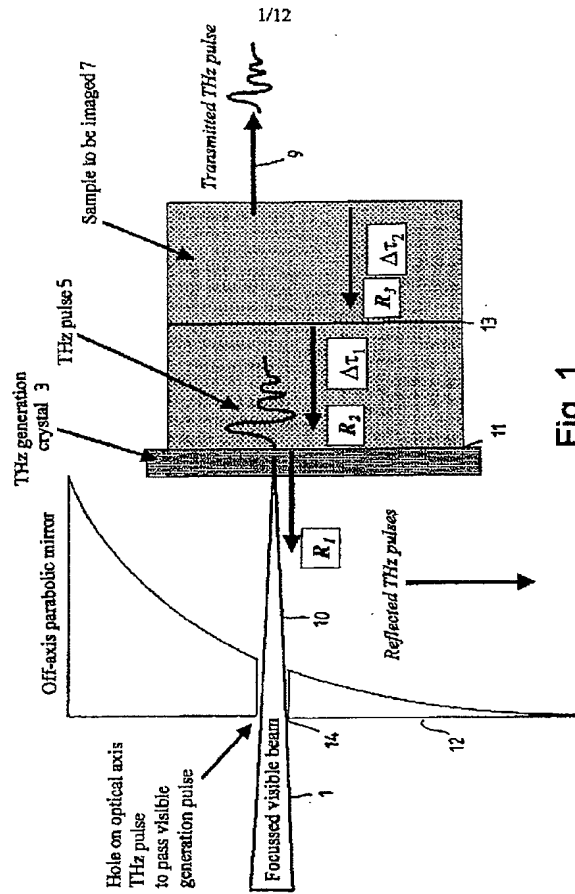


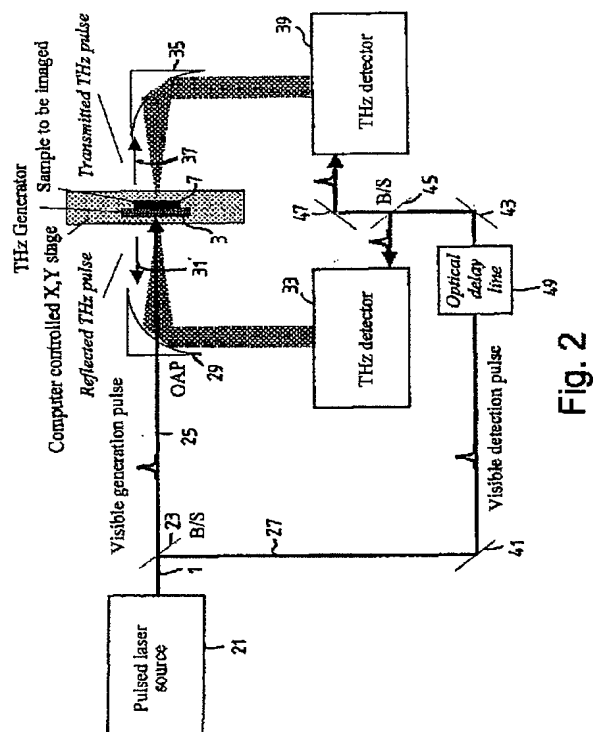
Fig. 1

SUBSTITUTE SHEET (RULE 28)

WO 00/75641

PCT/GB00/02168

2/12



SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

WO 00/75641

PCT/GB00/02168

3/12

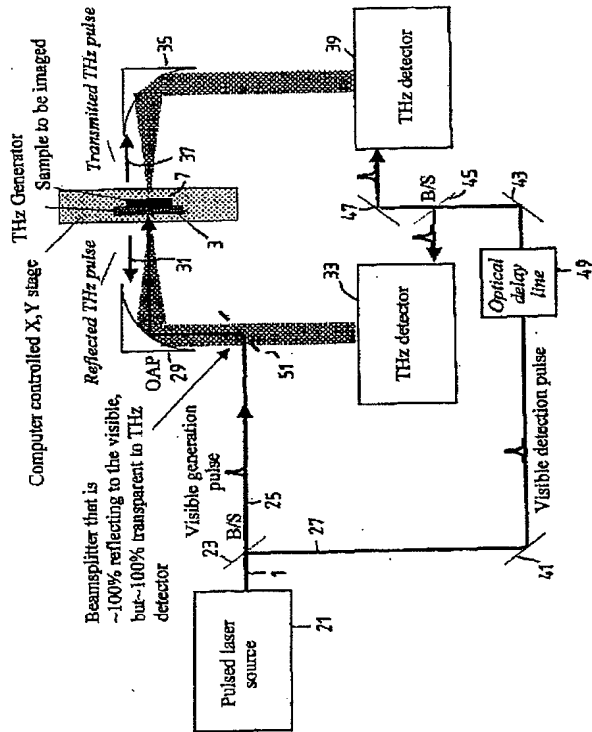
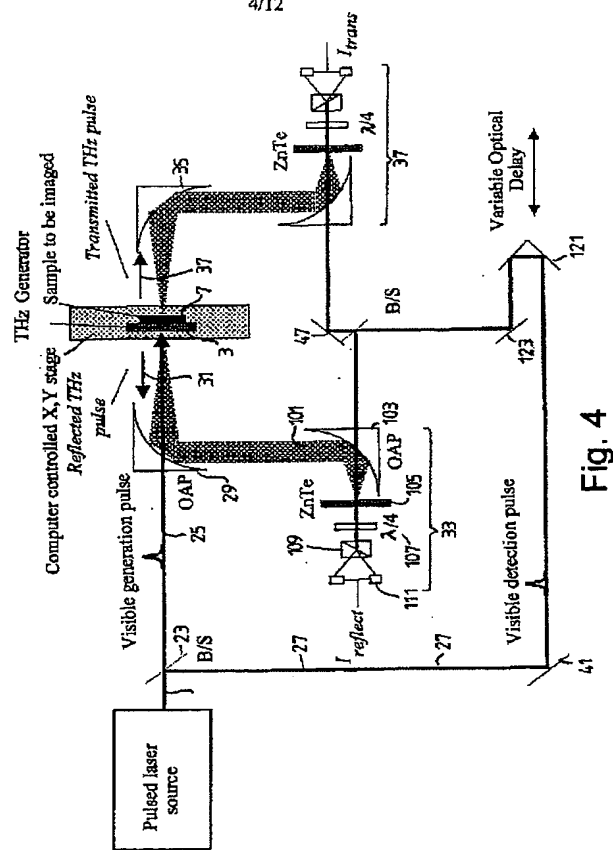


Fig. 3

SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

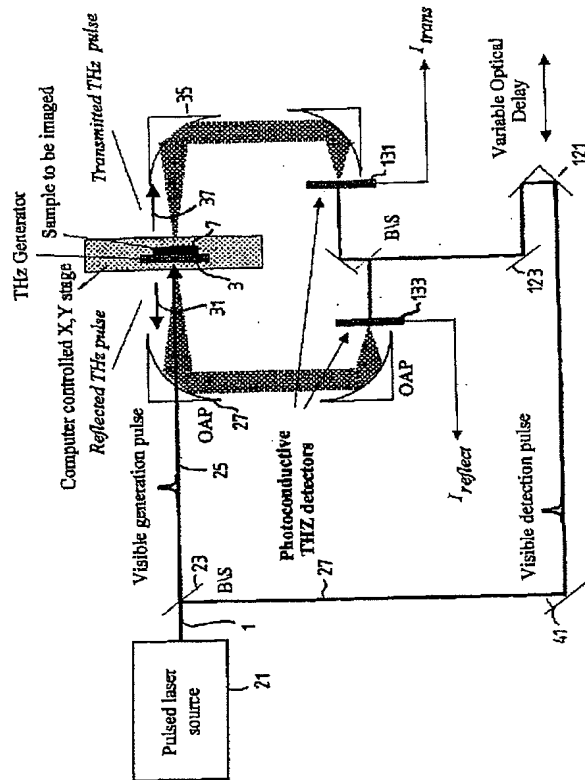


—54—

WO 00/75641

PCT/GB90/02168

5/12



SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

WO 08/75641

PCT/GB00/03168

6/12

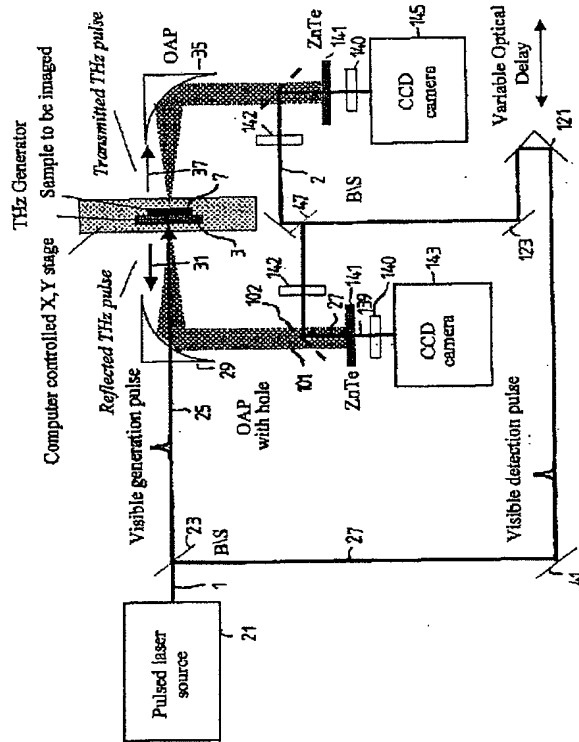
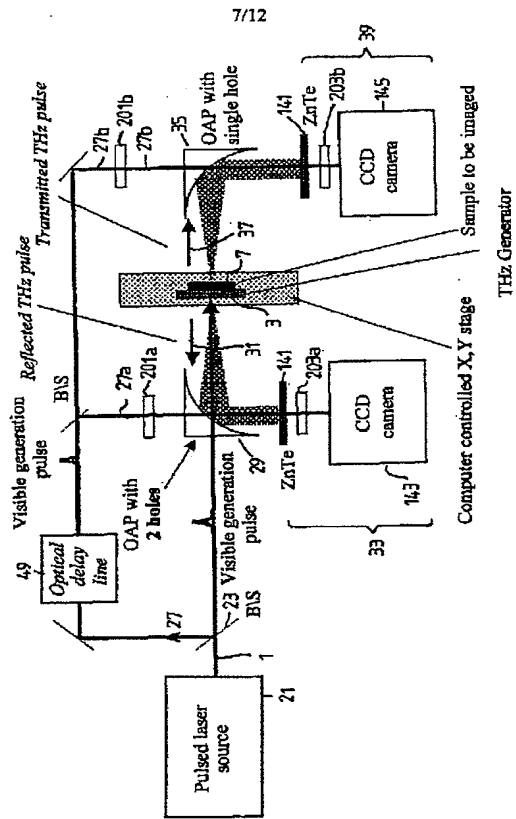


Fig. 6

SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)



WO 00/75641

PCT/GB00/02168

8/12

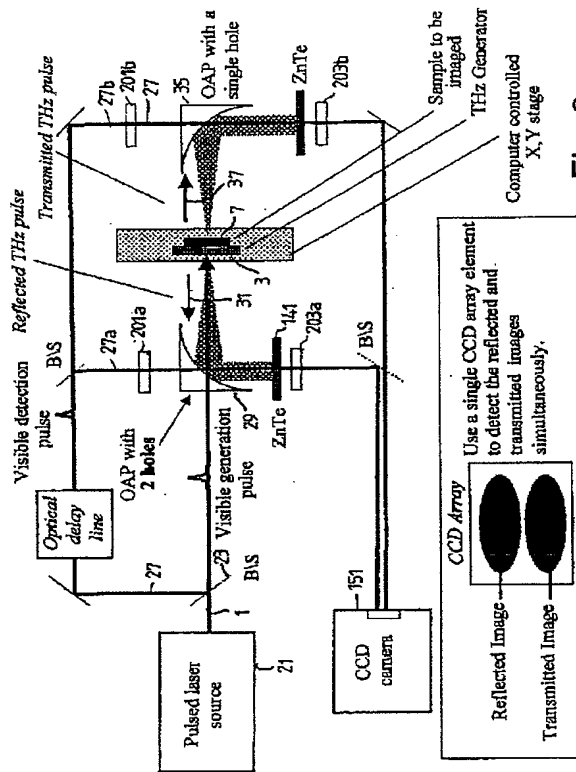


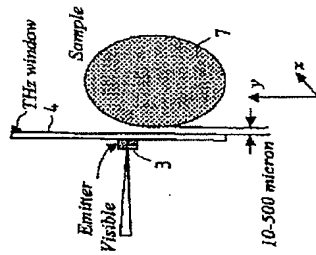
Fig. 8

SUBSTITUTE SHEET (RULE 25)

WO 00/75641

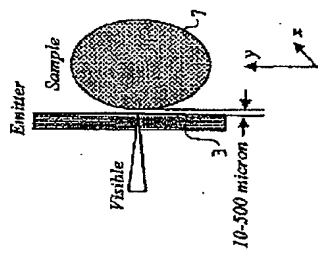
PCT/GB00/02168

9/12

Arrangement #3

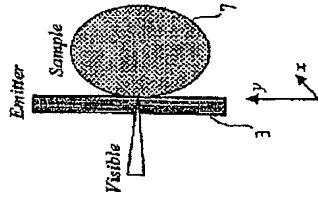
Small emitter crystal, mounted on a THz window. The sample is mounted close (10-500 microns) to the THz window. Only the sample is moved.

Fig. 9c

Arrangement #2

Small (10-500micron) gap between the sample and the emitter. Only the sample moves.

Fig. 9b

Arrangement #1

Sample and THz emitter are moved together using motorised stages.

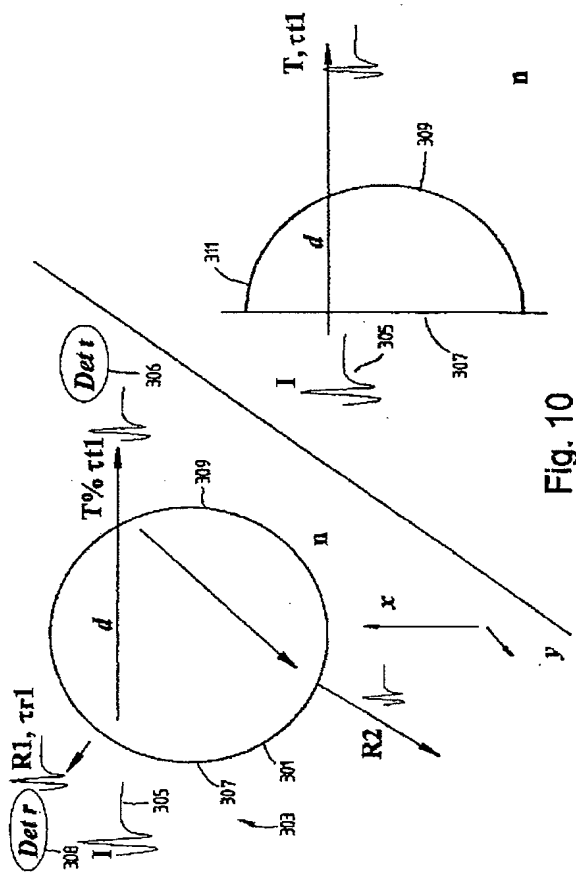
Fig. 9a

SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

WO 00/75641

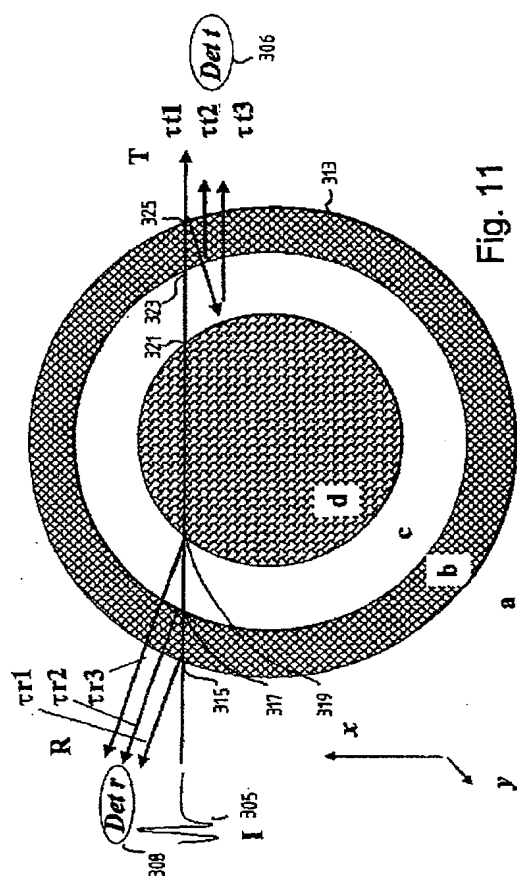
PCT/CB00/02168

10/12



SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

Fig. 11



SUBSTITUTE SHEET (RULE 25)

12/12

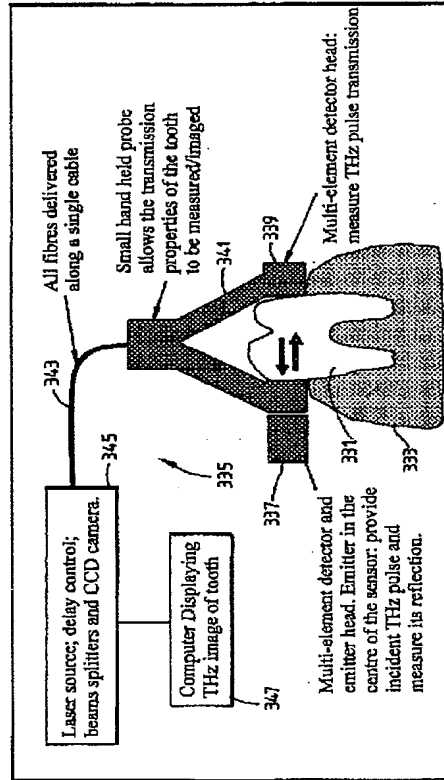


Fig. 12

SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.
PCT/GB 00/02168

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC 7 GOIN21/35		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC 7 GOIN		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used) EPO-internal, PAJ, WPI Data, INSPEC, COMPENDEX, IBM-TDB		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of documents, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	D.M. MITTLEMAN ET AL: "T-ray imaging" IEEE JOURNAL OF SELECTED TOPICS IN QUANTUM ELECTRONICS, vol. 2, no. 3, September 1996 (1996-09), pages 679-692, XP000689828 IEEE SERVICE CENTER., US ISSN: 1077-260X cited in the application abstract page 680, right-hand column, line 7 - line 19 page 685, left-hand column, line 1 -right-hand column, line 11 figures 2,9 --- -/-	1,2,25, 26
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C.		
<input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another claim or other special reason (see specification) "O" document relating to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" least documents published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such docu- ments, such combination being obvious to a person skilled in the art "Z" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 19 October 2000		Date of mailing of the international search report 26/10/2000
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.O. Box 5011, Phoenix 2 PL - 2000 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 900-5040, Tlx. 31 501 504 04 Fax (+31-70) 840-5018		Authorized officer Thomas, R.M.

Form PCT/ISA/210 (second sheet) 6/1990

page 1 of 2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

by International Application No.
PCT/GB 00/02168

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 0 828 143 A (LUCENT TECHNOLOGIES) 11 March 1998 (1998-03-11) column 1, line 14 - line 30 column 11, line 7 - line 44 figures 5A, 5B	1, 25
E	GB 2 347 835 A (TOSHIBA RESEARCH EUROPE) 13 September 2000 (2000-09-13) page 1, paragraph 1 page 38, paragraph 7 claim 39; figure 36	1, 2, 18-26, 30, 32, 33, 37-41

Form PCT/ISAO/2001 (continuation of annex sheet) (July 2002)

page 2 of 2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT				International Application No.	
Information on patent family members				PCT/GB 00/02168	
Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date		
EP 0828143 A	11-03-1998	US 5789750 A JP 10104171 A	04-08-1998 24-04-1998		
GB 2347835 A	13-09-2000	WO 0050859 A	31-08-2000		

Form PCT/ISA210 (patent family annex) (July 1992)

フロントページの続き

(81) 指定国 AP (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), EA (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), EP (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), OA (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW

(特許庁注：以下のものは登録商標)

フロッピー

(72) 発明者 シースラ, クレイグ マイケル

イギリス国, ケンブリッジシャー シービー4 0 ダブリュイー, ケンブリッジ, ミルトン・ロード, ケンブリッジ・サイエンス・パーク 260, テラビュー・リミテッド内

Fターム(参考) 2G059 AA05 BB12 CC16 EE01 EE02 EE05 FF02 FF08 GG01 GG04
GG08 HH01 HH02 JJ12 JJ13 JJ14 JJ19 JJ22 KK03 KK04
LL01 MM01 MM05 MM08